



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Henri Hardén

# Kartongin valmistusprosessin mittausten optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

20.1.2020

Tekijä Otsikko	Henri Hardén Kartongin valmistusprosessin mittausten optimointi
Sivumäärä Aika	35 sivua + 1 liite 20.1.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Tuotepäällikkö Antti Kottila Lehtori Heikki Paavilainen
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli kartongin valmistusprosessin mittausten optimointi. Työn tilaajana oli Endress+Hauser Oy ja työssä käsiteltiin heidän asiakkaansa Kotkamills Oy:n kartonkikone 2:n massaosaston ja lyhyen kierron prosessimittauksia.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla kartongin valmistuksen ja prosessimittauksen teoriaan sekä perehtymällä Endress+Hauserin mittauslaitevalikoimaan. Mittauksen teoriaa ja mittareiden luotettavan toiminnan edellytyksiä tutkittiin kirjallisuuden ja mittareiden teknisten tietojen pohjalta. Kartonkikoneen tarkasteltavan prosessin osan mittauslaitekanta, mittausten nykytila ja kunnossapitotoimet selvitettiin auditoinnilla ja haastattelemalla Kotkamillsin henkilökuntaa. Optimointikeinoja kartoitettiin haastattelemalla Endress+Hauserin asiantuntijoita ja tutkimalla yrityksen palvelutarjontaa.</p> <p>Selvitettyjen tietojen perusteella saatiin tarkka näkemys mittausten nykytilasta ja siitä, kuinka mittauksia ylläpidetään. Tiedon perusteella pohdittiin miten prosessimittausten laadua ja toimintavarmuutta voitaisiin parantaa. Lisäksi yhdessä virtausmittauksessa esiintyvää huojuntaa tutkittiin tarkemmin.</p> <p>Lopputuloksena löydettiin useita keinoja, joiden avulla mittausten optimointi on mahdollista. Luotettava mittaus vaatii oikean asennustavan sekä säännöllistä kunnossapitoa. Huollon ja kunnossapidon avuksi on saatavilla Heartbeat itsediagnostiikkatyökalu sekä huolto- ja saatavuuspalvelut varmistamaan jatkuvan ja luotettavan mittauksen. Mittausten kriittisyysluokittelun perusteella optimointitoimet voidaan suunnitella tarkoituksenmukaisesti jokaiselle mittauspositiolle.</p>	
Avainsanat	Prosessimittaus, optimointi, valmistusprosessi

Author Title Number of Pages Date	Henri Hardén Optimization of the Measurements of the Board Manufacturing Process 35 pages + 1 appendix 20 January 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Antti Kottila, Product Manager Heikki Paavilainen, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to discover methods to optimize the process measurements of the board manufacturing process. The Bachelor's thesis was commissioned by Endress+Hauser Oy and it was carried out in co-operation with Kotkamills Oy. The process measurements examined in this thesis deal with the Kotkamills board machine.</p> <p>The study was started by examining the basics of a cartonboard manufacturing process and familiarizing with a selection of Endress+Hauser's field instruments. The theory of measuring and the requirements for reliable operability were studied from topic-related literature. The analysis of the field instruments was carried out with a factory audit and interviewing personnel at the Kotkamills plant. Solutions to optimize measurements were examined by interviewing Endress+Hauser's personnel and exploring the company's service offerings.</p> <p>The collected data provided an accurate view of the current state of the measurements and how measuring instruments are maintained at the Kotkamills plant. Based on this data, it was determined how the quality and reliability of process measurements could be improved.</p> <p>As a result, several solutions were found to optimize measurements. It was discovered that reliable measurement requires proper installation and regular maintenance. The Heartbeat self-diagnostics tool and after-sales services are available to help with the maintenance process. Based on the criticality classification of the measurements, optimization activities can be appropriately planned for each measurement position.</p>	
Keywords	Process measurement, optimization, manufacturing process

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta ja tavoitteet	1
1.2	Yritykset	2
2	Kartongin valmistus	2
3	Mittaus	5
3.1	Mittauslaite	5
3.2	Mittausvirhe	6
3.3	Kalibrointi	7
4	Virtaus ja määrä	7
4.1	Virtausmittaus	8
4.2	Sähkömagneettinen virtausmittaus	9
4.2.1	Toimintaperiaate	9
4.2.2	Rakenne ja toiminta	10
4.2.3	Huolto ja kalibrointi	13
5	pH:n mittaaminen	14
5.1	pH-mittauksen perusteet	14
5.2	pH-mittarit ja mittauksen suorittaminen	16
5.2.1	Toimintaperiaate	16
5.2.2	Lasielektrodin rakenne ja toiminta	16
5.2.3	Huolto ja kalibrointi	19
6	Mittausten optimointi	21
6.1	Laitekanta ja laitehallinta	21
6.2	Asennus	22
6.3	Kunnossapito	24
6.3.1	Kriittisyysluokittelu	25

6.3.2	Heartbeat Technology	26
6.3.3	Kunnossapitopalvelu	28
6.3.4	Saatavuuspalvelu	29
6.4	Virtausmittauksen analysointi	29
6.5	Muut havainnot	31
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liite. Heartbeatin verifiointiraportti.	

## Lyhenteet

DN	Nimellinen halkaisija millimetreissä.
EH	Endress+Hauser.
IoT	Internet of Things, esineiden internet.
ISFET	Ion-sensitive field-effect transistor, ioniselektiivinen kanavatransistori.
KK2	Kotkamills kartonkikone 2.
PTFE	Polytetrafluorieteeni.
W@M	Endress+Hauser Life Cycle Management -ohjelmisto.

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Erilaiset mittaukset ovat oleellinen osa teollisuuden prosesseja. Mitattavien suureiden arvojen perusteella prosessia säädetään halutun lopputuotteen ja laadun aikaansaamiseksi. Taloudellinen ja tehokas säätö edellyttää luotettavia ja tarkkoja mittauksia. Epätarkka mittaus aiheuttaa laadunvaihtelua, lisää säätötarvetta ja aiheuttaa valmistuskustannusten kasvua.

Tämän insinöörityön aiheena on kartongin valmistusprosessin mittausten tarkastelu ja optimointi. Työn tilaajana on Endress+Hauser Oy ja työn kohteena heidän asiakkaansa Kotkamills Oy:n kartonkikone 2. Lisäksi teknologiatoimittaja Valmet Oyj on mukana valmistusprosessin asiantuntijan roolissa.

Työn tarkoituksena on optimoinnin näkökannalta kartoittaa kartonkikoneen mittalaittekan-  
taa, selvittää mittausten luotettavuus, oikea sijainti, huolto- ja kalibrointitarve sekä vara-  
laitteiden saatavuus. Työssä tutustutaan myös kartongin valmistusprosessiin ja sen  
asettamiin vaatimuksiin mittausten kannalta.

Tässä työssä käsiteltävät mittaukset rajataan märkäosan virtausmittauksiin sekä valmis-  
tusprosessissa tarvittavien lisäaineiden, ditioniitin ja natriumsulfiitin valmistuksen pH-mit-  
tauksiin.

## 1.2 Yritykset

### Endress+Hauser Oy

Endress+Hauser Oy on Endress+Hauser AG:n omistama tytäryhtiö. Sveitsissä pääkonttoria pitävä Endress+Hauser AG on vuonna 1953 perustettu perheyritys, joka on mittaus- ja säätötekniikkaan, palveluihin ja prosessiautomaation ratkaisuihin keskittynyt maailmanlaajuinen markkinajohtaja. Yritys toimii 125 maassa työllistäen lähes 15 000 henkilöä. [20.]

### Kotkamills Oy

Kotkamills Oy:n historia ulottuu vuoteen 1872, jolloin Hans Gutzeit perusti Kotkaan höyrykäyttöisen sahan. Toiminta on ajan kuluessa jalostunut selluntuotantoon, ja paperia on valmistettu 1950-luvulta alkaen. Vuonna 2010 Stora Enso myi tehtaan amerikkalaiselle sijoitusyhtiölle, joka puolestaan myi tehtaan suomalaisomistukseen vuonna 2015. Toinen paperikoneista muutettiin kartonkikoneeksi vuonna 2016 ja sillä tuotetaan uudenlaista muovitonta pakkaus- ja elintarvikekartonkia. [21.]

### Valmet Oyj

Valmet Oyj on maailman johtava sellu-, paperi- ja energiateollisuuden teknologia-, -automaatio- ja palvelutoimittaja. Yrityksellä on yli 200-vuotinen historia, ja se on kokenut monia muodonmuutoksia. Nykyisin Valmet toimii sellu-, paperi- ja energiateknologiatuottajana sekä automaatiotratkaisujen toimittajana. [22.]

## 2 Kartongin valmistus

Kartongin valmistus ei juurikaan poikkea paperin valmistuksesta. Paperi on tyypillisesti yksikerroksinen, kun kartonki puolestaan on valmistettu useista kuitukerroksista. Kartonki eroaa paperista suuremman paksuuden ja siten jäykkyyden osalta. Kartongin pääasiallisia käyttökohteita ovat erilaiset pakkaukset (kuva 1).





Kuva 1. Kotkamills Aegle -pakkauskartonkia.

Valmistukseen käytettävistä raaka-aineista tärkeimpiä ovat kuidut, jotka yleisimmin ovat puukuituja. Kuitujen lisäksi massa, josta kartonkia valmistetaan, koostuu yleensä useasta eri raaka-aineesta, kuten täyteaineista, liimoista ja lisäaineista. Kukaan kartonkilaji vaatii oman massakoostumuksen.

Kartonkikoneen pääosat ovat perälaatikko, viiraosa ja puristinosi, jotka muodostavat ns. märkäpään, kuivatusosa sekä viimeisenä kartongin rullausosa, jossa muodostetaan koverulla, jota voidaan sen jälkeen jatkojalostaa erilaisiin asiakastarpeisiin.

Kartongin rakenteelliset ominaisuudet määräytyvät valtaosin jo viiraosalla. Sen tehtävä on poistaa vettä, suodattamalla sitä viirakudoksen läpi. Kartongin monikerrosrakenteen muodostumista varten käytetään yleensä useiden viiraosien yhdistelmää. Sulppu, eli laimea seos kuituja ja vettä syötetään perälaatikolta tasaisesti viiraosalle, ohueksi matoksi, eli rainaksi. Sulpun sakeus viiraosalle tullessa on 0,2–1,2 %, eli valtaosa on vettä. Viiraosalla poistetaan yli 95 % vesimäärästä ja viiraosan loppupäässä rainan kuiva-ainepitoisuus on kasvanut 15–20 %:iin. Viiralta poistunut vesi ohjataan lyhyeen kiertoon. Lyhyellä kierrolla tarkoitetaan prosessinosaa, jossa viiran läpäissyt, raaka-aineita sisältävä vesi johdetaan uudelleen prosessiin.

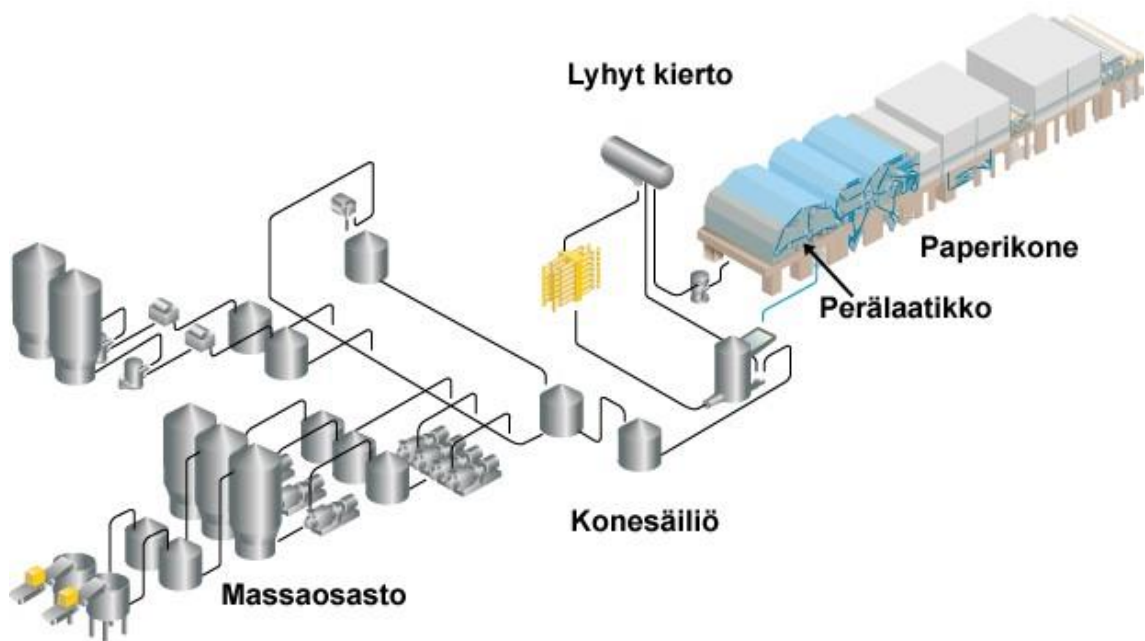
Viiraosalta raina viedään puristinosalle, jossa on 2–4 telaparia. Ne muodostavat puristusvyöhykkeet, joissa rainaa puristamalla saadaan kuidut sitoutumaan tiukemmin

toisiinsa ja poistetaan mahdollisimman paljon vettä. Kuiva-ainepitoisuus kasvaa 15–20 %:sta 40–60 %:iin.

Puristinosan jälkeen raina johdetaan kuivatusosalle, jonka tehtävänä on haihduttaa vettä rainasta, kuumien höyryllä lämmitettävien sylintereiden avulla. Kuivatusosalla voi olla myös pintakäsittelylaitteita, kuten päällystysasema, jossa kartongin pintaan valmistetaan haluttuja ominaisuuksia. Kuivatetun kartonginpinnan sileys ja kiilto viimeisteillään kalanteroinnilla, jonka jälkeen kartonki on valmis rullattavaksi.

[1, s. 15–16.]

Tässä työssä tarkasteltavat mittaukset sijaitsevat lyhyen kierron lisäksi massaosastolla. (kuva 2). Se sijaitsee ennen kartonkikonetta ja sen tehtävä on valmistaa tasalaatuista massaa perälaatikolle syötettäväksi.



Kuva 2. Massaosaston ja lyhyen kierron sijainti prosessissa [4].

### 3 Mittaus

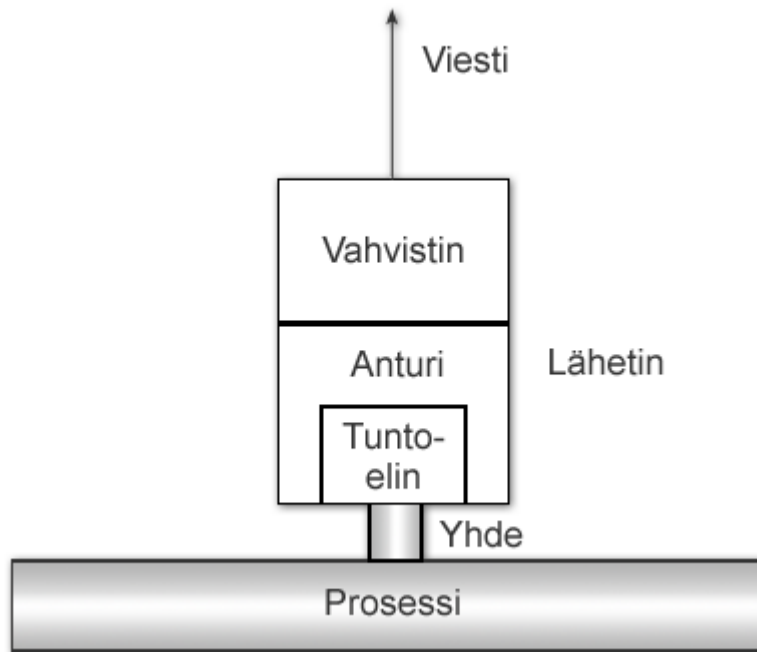
Mittaaminen eli mittaus on kohteen määrän määrittämistä. Kohteena on aina jokin ominaisuus, jonka määrä halutaan tietää. Eri ominaisuuksia on lukuisia, kuten paine, lämpötila ja pituus. Mittaustiedon avulla voidaan selvittää järjestelmän tila, tutkia järjestelmän ominaisuuksia ja säätää järjestelmän käyttäytymistä. [2, s. 7–8.]

Prosessilla tarkoitetaan monimutkaista järjestelmää, jossa esiintyy sähköisiä sekä mekaanisia ilmiöitä. Prosessiautomaatio säätää prosessin toimintaa niin, että se olisi mahdollisimman taloudellista, turvallista ja tehokasta ja että lopputuotteet olisivat korkealaatuisia. Prosessia voidaan säätää vain niin tarkasti kuin sen tilaa pystytään mittaamaan. [3.]

Mittausta tarvitaan automaation säätöpiirien takaisinkytkentätiedoksi, laatu- ja suoritusarvojen seurantaan, valvontaan sekä laskutustietojen keräämiseen.

#### 3.1 Mittauslaite

Mittauslaite koostuu useasta osasta (kuva 3). Anturi sisältää tuntoelimen, johon mittaus suure välittömästi vaikuttaa. Vahvistin muuntaa ja vahvistaa mittausarvot mittausviestiksi, jonka lähetin ymmärtää. Lähetin muodostaa joko analogisen tai digitaalisen standardiviestin ja välittää sen säätöjärjestelmään. Mittausarvoja voi seurata tietokoneelta säätöjärjestelmän ohjelmasta tai mittalaitteen osoitinkojeelta. Anturi voidaan liittää prosessiin asennusyhteen avulla tai laippaliitoksin putkistoon.



Kuva 3. Mittauslaitteen rakenne [4].

### 3.2 Mittausvirhe

Mittausantureille ja lähettimille ilmoitetaan suurin mahdollinen virheprosentti, mutta se on vain osa kokonaisvirheestä. Suurin mittausvirhe muodostuu väärästä asennuspai- kasta, likaantumisesta, tukkeutumisesta tai kohteeseen soveltumattomasta anturista. Myös lähettimen muodostaman viestin siirrossa voi esiintyä sähköisiä häiriöitä, jotka ai- heuttavat virhettä. Digitaaliseen muotoon muutettu viesti ei vääristy, mutta se voi kadota tiedonsiirrossa.

Kokonaisvirheen perusteella säätö ajaa prosessin väärään arvoon, mikä aiheuttaa kus- tannuksia energian ja materiaalin ylimääräisenä kulutuksena tai tuotteen laadun vaihte- luna. [4.]

### 3.3 Kalibrointi

Kalibrointi tarkoittaa mittauslaitteiden tarkkuuden tarkistamista. Kalibrointitoimenpiteet ovat mittauslaittekohtaisia, ja niiden avulla saadaan selvitettyä mittauslaitteen tai mittausjärjestelmän näyttämien arvojen ja vastaavien mittanormaaleilla toteutettujen arvojen välinen yhteys. [5.]

## 4 Virtaus ja määrä

Prosesseissa aineet siirretään yleisimmin virtauksina. Myös energiaa siirretään useimmiten ainevirtauksina, kuten polttoainetta tai lämmityskiertoa virtaavalla aineella. Esimerkiksi kartongin valmistuksessa, kuivatusosan sylinterit lämmitetään höyryn avulla. Hetkellisten virtausten tunteminen on siksi erittäin tärkeää prosessin hallinnan kannalta. Toinen merkittävä syy on taselaskenta, joka vaatii tiedon kulutetuista ainemääristä. [4.]

Tilavuusvirta on suure, joka ilmoittaa virtauskanavan poikkileikkauksen läpi kulkevan ainemäärän tilavuuden aikayksikössä. SI-järjestelmässä tilavuusvirran yksikkönä on m<sup>3</sup>/s. Virtausnopeudella tarkoitetaan virtauksen etenemisnopeutta, ja sen yksikkö on m/s.

Tilavuusvirta saadaan kaavasta

$$\dot{V} = vA$$

$\dot{V}$  on tilavuusvirtaus

$v$  on virtausnopeus

$A$  on poikkipinta-ala

Massavirta on suure, joka ilmoittaa virtauskanavan poikkileikkauksen läpi kulkevan aine-  
määrän massan aikayksikössä. Massavirran yksikkö SI-järjestelmässä on kg/s.

Massavirta saadaan kaavasta

$$\dot{m} = \rho \dot{V}$$

$\dot{m}$  on massavirtaus

$\rho$  on tiheys

$\dot{V}$  on tilavuusvirtaus

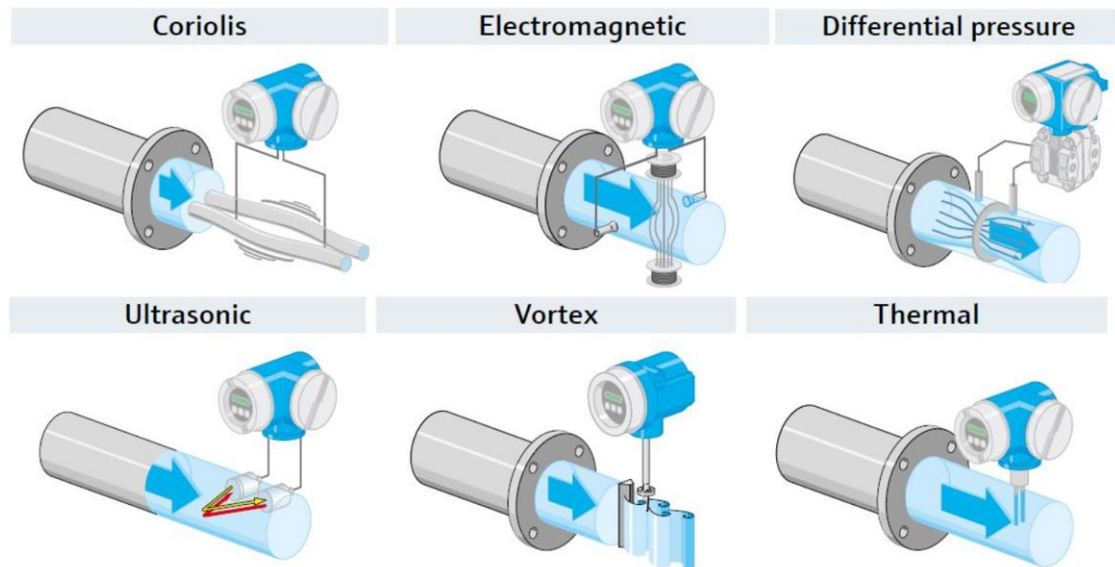
[6, s. 59.]

#### 4.1 Virtausmittaus

Virtausmittauksella määritetään putken tai avokanavan poikkileikkauksen läpi virtaavan nesteen, kaasun tai höyryn tilavuus- tai massavirta. Myös kiinteiden aineiden, kuten jauheiden ja rakeiden virtauksia voidaan mitata, mutta niitä menetelmiä ei käsitellä tässä yhteydessä.

Virtauksia voidaan mitata useilla eri menetelmillä ja anturityypeillä (kuva 4). Ne voidaan jaotella usealla eri tavalla, kuten virtausta häiritseviin ja häiritsemättömiin tai mekaanisiin ja sähköisiin. Mitattavia kohdesuureita ovat tilavuusvirta, massavirta, virtausnopeus ja virtausmäärä. Useimmiten mitattava suure on virtausnopeus, josta voidaan laskea tilavuusvirta, kun virtauspinta-ala tunnetaan.

Mittausmenetelmän valintaan vaikuttavat useat sovelluskohteen parametrit. Nestemäisten aineiden kohdalla näitä ovat nesteen ominaisuudet, kuten viskositeetti, kemiallinen koostumus, kiintoaineet, lämpötila ja sähkönjohtokyky. Muita merkittäviä tekijöitä ovat paine, virtausnopeus, vaadittu mittauksen tarkkuus sekä asennuskohteen olosuhteet. Kartongin valmistuksessa käytetään pääsääntöisesti sähkömagneettista virtausmittausta, joten sitä käsitellään tarkemmin. [2, s. 87–89.]



Kuva 4. Virtausmittausmenetelmiä [7].

## 4.2 Sähkömagneettinen virtausmittaus

### 4.2.1 Toimintaperiaate

Sähkömagneettisen virtausmittarin mittausmenetelmä perustuu Faradayn induktioperiaatteeseen. Johtimen liikkeessa magneettikentässä siten, että se leikkaa magneettikentän voimaviivoja, muodostuu johtimeen jännite. Indusoitunut jännite mitataan putken tai kanavan laidoille sijoitetuilla elektrodeilla. Lähdejännite saadaan kaavasta

$$E = k * B * D * V$$

$E$  = lähdejännite

$k$  = kalibrointivakio

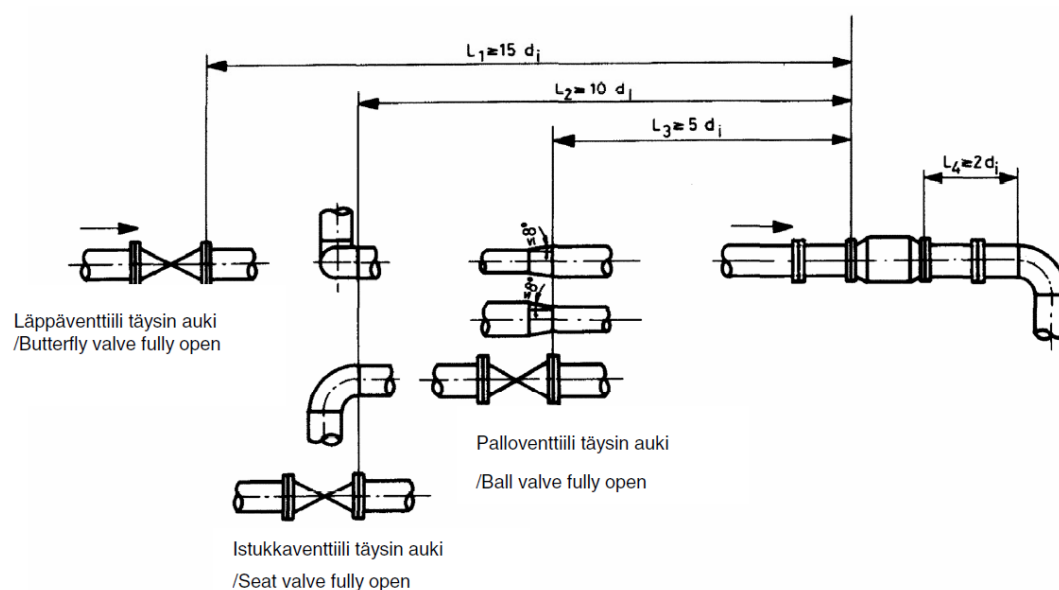
$B$  = magneettivuon tiheys

$D$  = putken sisähalkaisija

$V$  = virtausnopeus

Mitattavalla nesteellä tulee siis olla riittävä sähkönjohtavuus, vanhemmilla antureilla vähintään  $5 \mu\text{S}/\text{cm}$ , mutta nykyisille antureille riittää jopa kymmenesosa edellisestä. Virtausnopeudelle tyypillinen alaraja on  $0,5 \text{ m/s}$ , tämä on huomioitava putkistojen suunnittelussa, jotta mittauksen toiminnalle olisi oikeat lähtökohdat. Lisäksi suunnittelussa on huomioitava riittävät rauhoitusetäisyydet mittausputken tulo- sekä jättöpuolelle. [2, s. 118 – 119.]

Etäisyydet on määritelty SFS 5059 -standardissa (kuva 5), mutta jokaisen mittauksen kohdalla on suositeltavaa noudattaa laitekohtaisissa tiedoissa määritettyjä rauhoitusetäisyyksiä sekä asennustapoja.



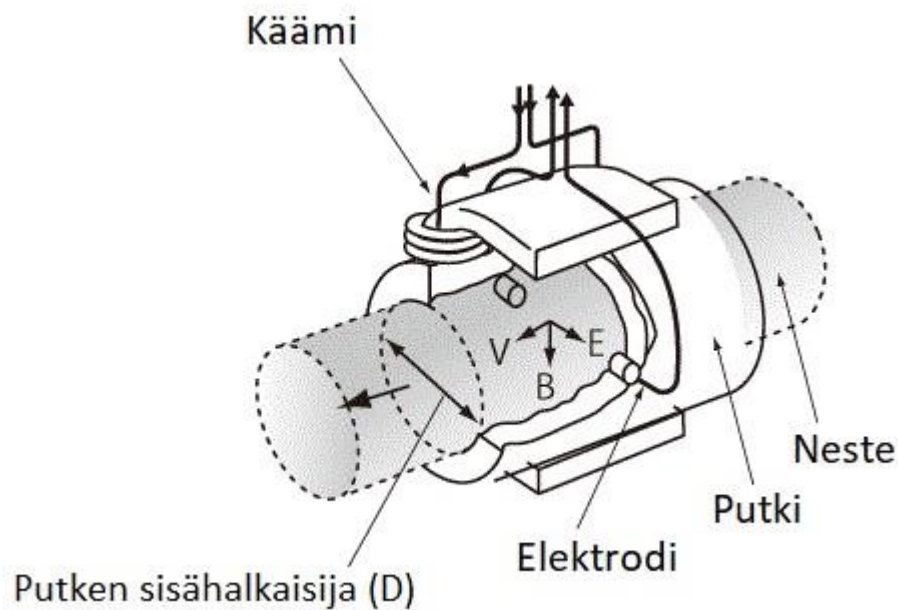
Kuva 5. SFS 5059 -standardissa suositellut häiriöttömät suorat putkiosuudet [8].

#### 4.2.2 Rakenne ja toiminta

Sähkömagneettisen virtausmittarin sisällä on kaksi magneetikäämiä. Eri napaiset käämit muodostavat jatkuvan magneettikentän putken koko poikkipinnan alueelle. Tehohäviöiden minimoimiseksi magneettikenttä pyritään muotoilemaan putken suunnassa mahdollisimman lyhyeksi. Elektrodit on sijoitettu laidoille putken halkaisijalle, kohtisuoraan magneettikenttää vastaan (kuva 6). Putki on yleensä metallia ja se on sisäpuolelta päällystetty johtamattomalla eristemateriaalilla, kuten PTFE:llä, joka tunnetaan paremmin

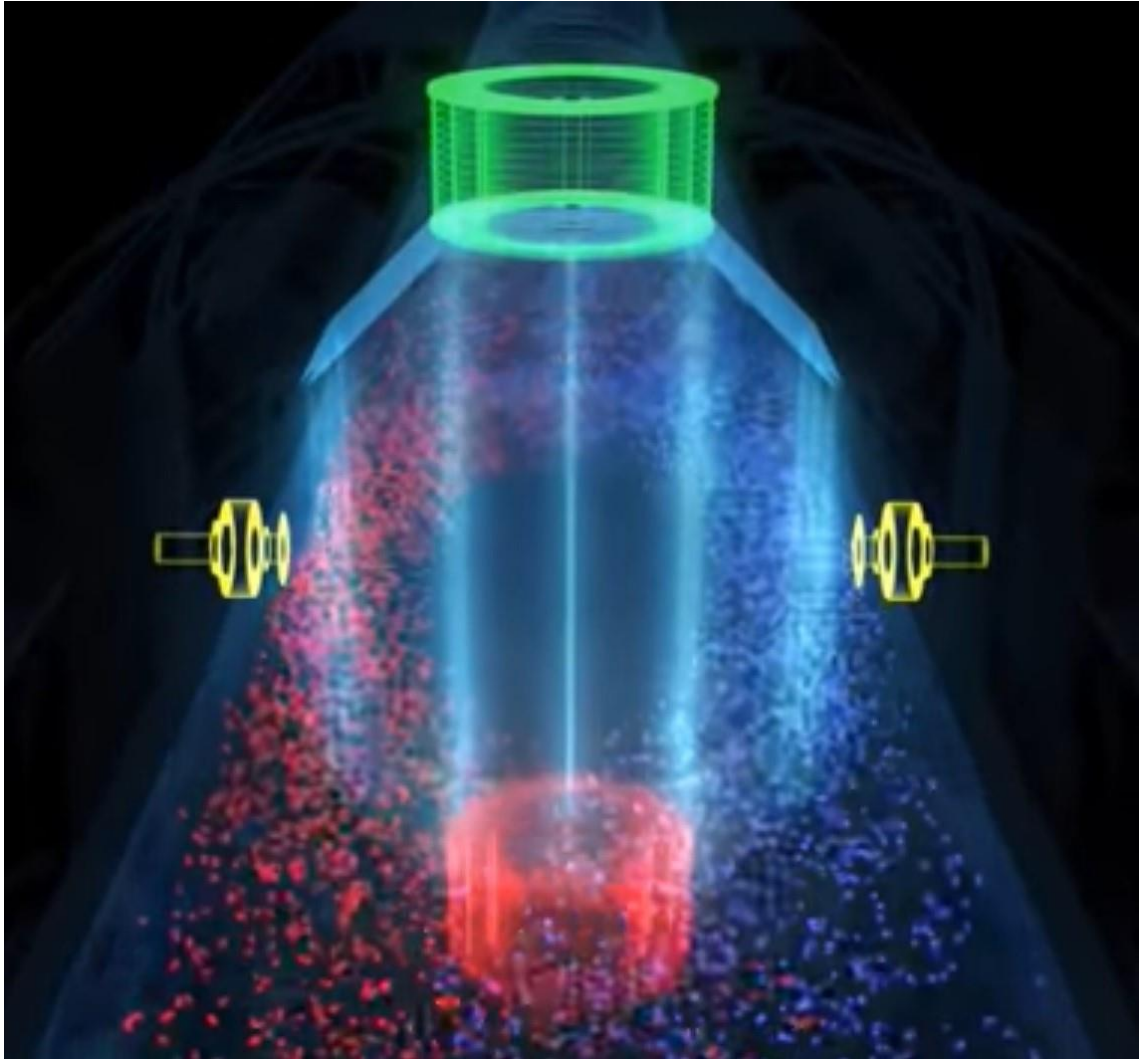


kauppanimellä Teflon. PTFE:n ominaisuuksia ovat lämmön- ja kemikaalien kestävyys, sähköneristyskyky ja pieni kitkakerroin.



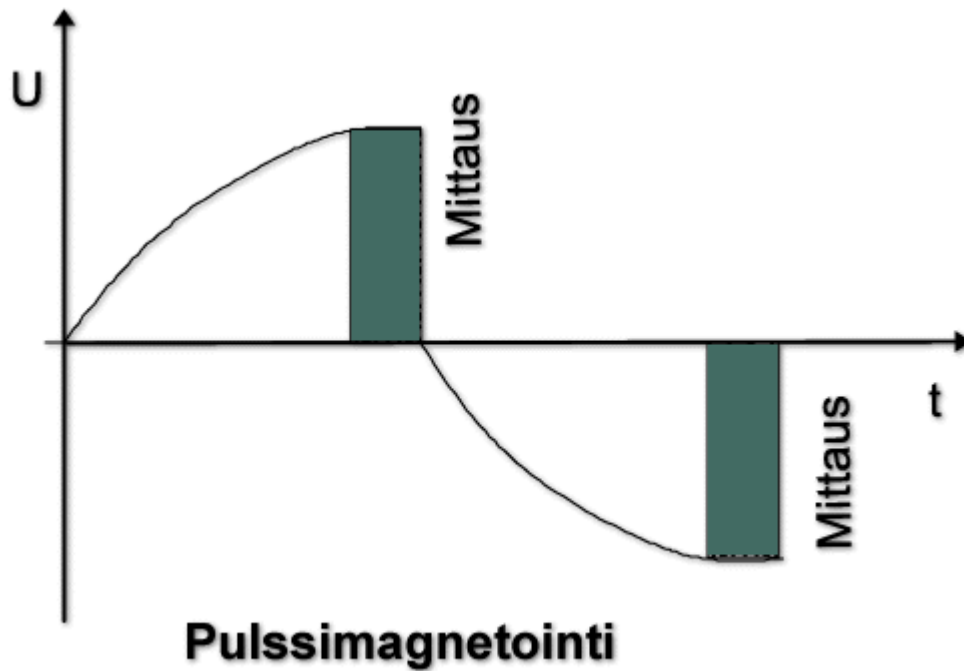
Kuva 6. Sähkömagneettisen virtausmittarin rakenne [9].

Kun putkessa on virtausta, magneettikenttää saa positiivisesti ja negatiivisesti varautuneet partikkelit erottumaan toisistaan putken vastakkaisille puolille ja siten muodostuu sähköjännite (kuva 7). Muutaman millivoltin luokkaa oleva jännite havaitaan ja mitataan elektrodien avulla, minkä jälkeen se johdetaan vahvistimelle, joka puolestaan lähettää sähköisen standardiviestin osoitinkojeelle tai tietokoneelle. Kyseinen jännite on suoraan verrannollinen virtausnopeuteen putkistossa, ja yhdessä tunnetun poikkipinta-alan kanssa saadaan laskettua virtausmäärä.



Kuva 7. Sähkömagneettisen virtausmittarin toimintaperiaate [10].

Metallista valmistetun elektrodin ja virtaavan nesteen välille muodostuu myös häiriöjännitettä. Useista tekijöistä aiheutuvat lähdejännitteet voivat olla suurempia kuin itse virtausjännite ja ne on eroteltava toisistaan. EH:n antureissa käytetään pulssimagnetointia, eli magneettikäämeille syötetään pulssitettua tasajännitettä, jonka avulla käämien napaisuutta vaihdetaan jatkuvasti (kuva 8). Tämän avulla poistetaan nesteen aiheuttamat häiriöjännitteet ja myös ulkoisten magneettikenttien vaikutukset. [10.]



Kuva 8. Magnetointi positiivisilla ja negatiivisilla jännitepulsseilla [4].

#### 4.2.3 Huolto ja kalibrointi

Periaatteessa sähkömagneettinen virtausmittaus on huoltovapaa ja kalibrointi tarpeellista vain pakollisissa sovelluksissa, kuten laskutusperusteisissa mittauksissa tai koh-teissa, joihin kohdistuu viranomaisvaatimuksia.

Joissakin sovelluksissa voi esiintyä anturin sisäosan vuoraantumista tai kulumista, joka voi vaikuttaa tarkkuuteen. Myös vahvistimen elektronikan ikääntyminen saattaa aiheut-taa epätarkkuutta. Vaikka kalibroinnille ei ole asetettu aikavälejä, on sen, sekä verifioin-nin jaksottaminen tärkeää etenkin kriittisissä mittauspositioissa. [14.]

## 5 pH:n mittaaminen

### 5.1 pH-mittauksen perusteet

Aineen happamuutta tai emäksisyyttä kuvataan pH-arvolla. Useimmiten pH-arvoa mitataan vesiliuoksista eli vesipohjaisista aineista. Se on yleisesti yksi tärkeimmistä prosessisuureista lämpötilan ja paineen ohella, ja sitä mitataan useissa prosessien osioissa. Esimerkiksi paperin ja kartongin valmistuksessa pienikin pH:n muutos voi aiheuttaa merkittäviä laadun vaihteluja tai jopa katkoksia tuotantoon. Kyseisissä prosesseissa pH:n nousu kasvattaa puun ainesosien liukenemista ja sen myötä anionisen häiriöaineen määrää. Myös kuitujen pintavaraus kasvaa ja bakteeritoiminta sekä pihkan liukenevuus kiihtyy. pH:n aleneminen vaikuttaa liukenemattomien saostumien syntymiseen, ja ne voivat merkittävästi häiritä valmistusprosessia. [1, s. 148.]

Vetyioni  $H^+$  aiheuttaa aineen happamuuden, eli käytännössä pH:lla kuvataan liuoksen vetyionien määrää. pH-arvo on vetyioniaktiivisuuden negatiivinen logaritmi vesiliuoksessa. Koska puhtaita vetyioneja ei esiinny, on vedessä  $H_3O^+$ , eli oksoniumioneja, jotka aiheuttavat happamuuden ja  $OH^-$ , eli hydroksidi-ioneja, jotka aiheuttavat emäksisyyden.

Jos tiedetään liuoksen vetyioniaktiivisuus  $a_{H^+}$  tai oksoniumionikonsentraatio  $H_3O^+$  (mol/dm<sup>3</sup>), se voidaan muuttaa pH arvoksi seuraavasti:

$$pH = -\log_{10}[H_3O^+]$$

tai

$$pH = -\log_{10}[a_{H^+}]$$

Vastaavasti voidaan laskea liuoksen pOH-arvo hydroksidi-ionikonsentraatiosta

$$pOH = -\log_{10}[OH^-]$$

,jossa  $OH^-$  on liuoksen hydroksidi-ionikonsentraatio (mol/dm<sup>3</sup>).

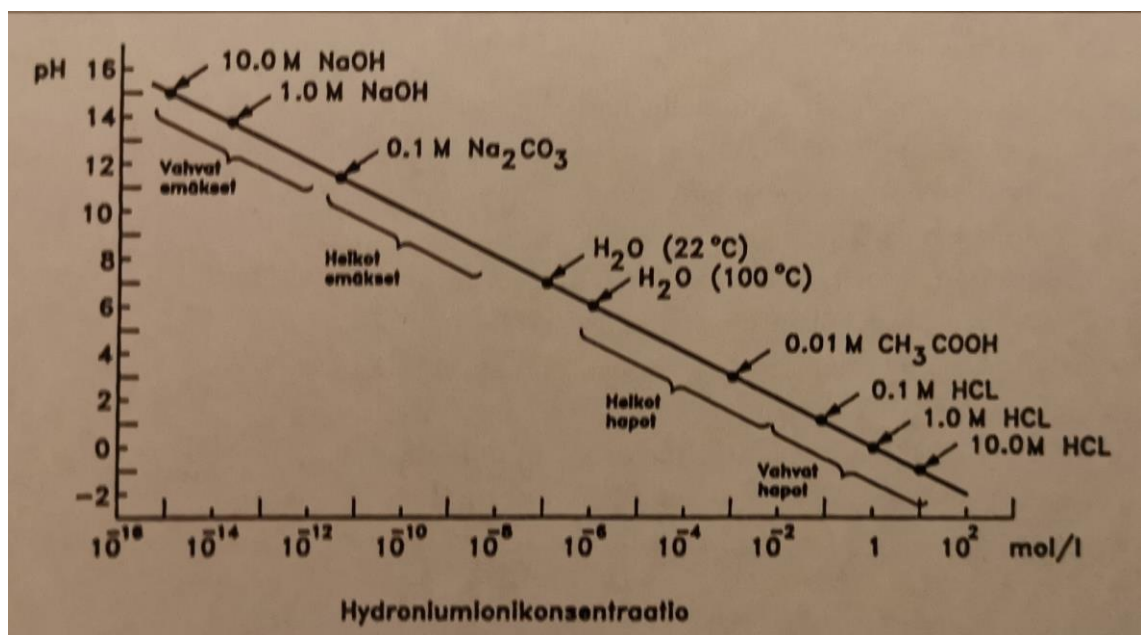
pH ja pOH arvoja vertaamalla saadaan selville liuoksen happamuus:

$[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$ , liuos on hapan

$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ , liuos on neutraali

$[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$ , liuos on emäksinen

pH-asteikon logaritmi on kymmenkantainen, pH:n pieneneminen yhdellä tarkoittaa oksoniumionien määrän kymmenkertaistumista. Tavallisesti pH-luku on välillä 0 – 14, joitakin asteikon ulkopuolelle asettuvia poikkeuksiaakin on, mutta ne ovat kuitenkin harvinaisempia. Happaman aineen pH on alle 7, neutraalin aineen 7 ja emäksisen yli 7. Tarkkojen mittausten perusteella tiedetään, että +25 °C:n lämpötilassa olevan hyvin puhdistetun veden oksonium- ja hydroksidi-ionikonsentraatio on tasapainotilassa  $1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ , eli pH-luku on tasan 7. Muutoin vain harvan aineen pH on tasan 7. [4.]

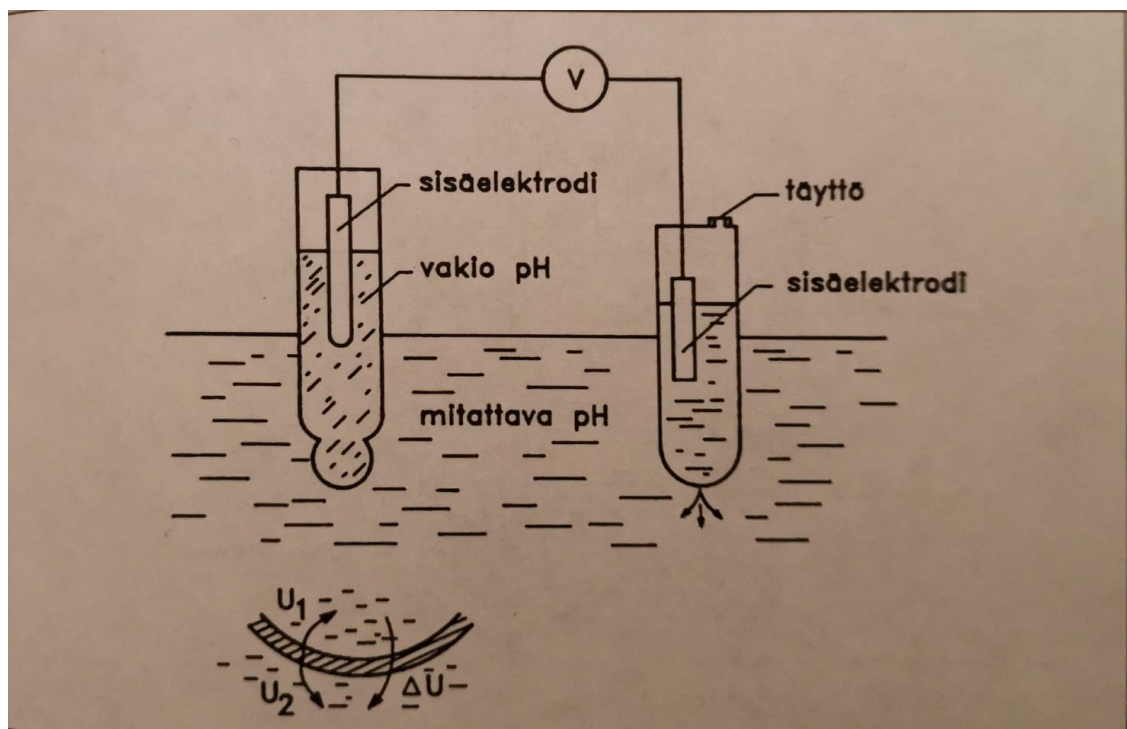


Kuva 9. pH:n riippuvuus hydroniumionikonsentraatiosta [6, s. 140].

## 5.2 pH-mittarit ja mittauksen suorittaminen

### 5.2.1 Toimintaperiaate

pH-mittaus on ioniselektiivinen mittaus, jolla mitataan liuoksen vetyionien määrää. Koska vetyionien määrä ei ole kovin informatiivinen tapa kertoa aineen happamuus, ilmoitetaan mittaustulos pH-yksikköinä. Sähköinen pH-mittaus perustuu kahden elektrodin välille syntyvään potentiaalieroon. Mittauselektrodi antaa mitattavan nesteen pH-arvoon verrannollisen potentiaalin. Referenssi- eli vertailuelektrodin potentiaali pysyy samana, vaikka nesteen ominaisuudet muuttuisivatkin. (Kuva 10.)



Kuva 10. Sähköisen pH-mittauksen rakenne [6, s. 141].

### 5.2.2 Lasielektrodin rakenne ja toiminta

Yleisin mittauselektrodi on lasielektrodi. Kohteisiin, joissa lasia ei voi käyttää, on saatavilla lasittomia ISFET-elektrodeja. Kartonkikoneella on käytössä lasielektrodit, joten niiden toimintaan perehdytään tarkemmin.

Tavallisimmin käytetyt lasielektrodit ovat yhdistelmäelektrodeja, joissa mittaus- ja referenssiosiot sekä lämpötila-anturi ovat samassa paketissa (kuva 11). Yhdistelmäelektrodin käyttö ja asentaminen on erillisiin verrattuna vaivattomampaa. [4.]



Kuva 11. Endress+Hauser CPS11D pH-anturi [11].

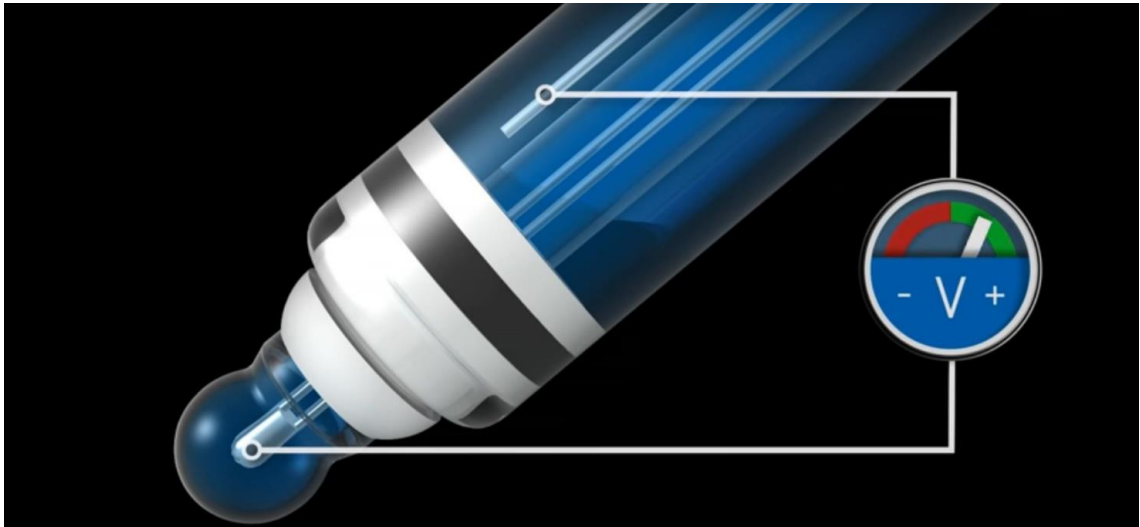
Mittausosio sijaitsee anturin sisemmässä putkessa. Se koostuu lasiputkesta, jonka päässä on hyvin ohut, 0,2–0,5 mm paksu, lasinen pH-herkkä kupu. Lasikuvun toinen puoli on kosketuksissa mitattavaan aineeseen ja toinen puoli täyteliuokseen. Lasiputken sisällä on hopeakloridilla päällystetty hopealanka, joka muodostaa sähkökontaktin. Mittauselektrodi on täytetty neutraalilla kaliumkloridiliuoksella, jonka pH-arvo on 7.

Referenssiosio on anturin uloimmassa kuoressa. Se koostuu myös lasiputkesta, jonka sisällä on hopea-hopeakloridi-lanka ja kaliumkloridi-liuos. Referenssielektrodin ja mitattavan liuoksen välinen sähköinen liitos saadaan erityisen suolasillan avulla, joka estää liuosten mekaanisen sekoittumisen keskenään, mutta säilyttää johtokyvyn niiden välillä. Referenssielektrodin kaliumkloridi-liuos tihkuu hitaasti mitattavaan liuokseen, jotta täytönesteen potentiaali asettuu samaksi kuin mittavan nesteen.

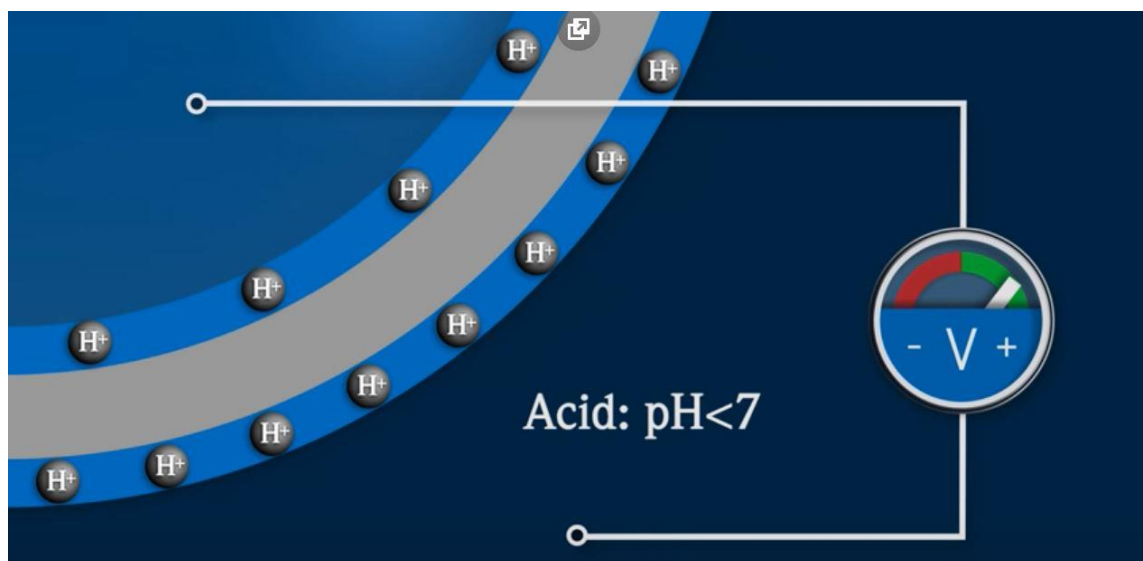
pH-arvo lasketaan referenssi- ja mittauselektrodien välisestä potentiaalierosta (kuva 12). Esimerkkinä laimennettu suolahappo, joka sisältää suuria negatiivisesti varautuneita kloridi-ioneja ja pieniä positiivisesti varautuneita vetyioneja. Kun anturi on asetettu suolahappoon, pienet vetyionit pystyvät läpäisemään mittauselektrodin lasikuvun päällä olevan geelimäisen kalvon. Suuremmat kloridi-ionit jäävät kalvon ulkopuolelle mitattavaan liuokseen ja syntyy varausero (kuva 13). Sama prosessi toistuu mittauselektrodin sisällä neutraalissa kaliumkloridiliuoksessa, jossa on muuttumaton koostumus vetyioneja. Jos



vetyionien määrä lasikuvun ulko- ja sisäpuolella eroaa toisistaan, muodostuu mitattava potentiaaliero.



Kuva 12. Potentiaalieron mittaaminen [12].



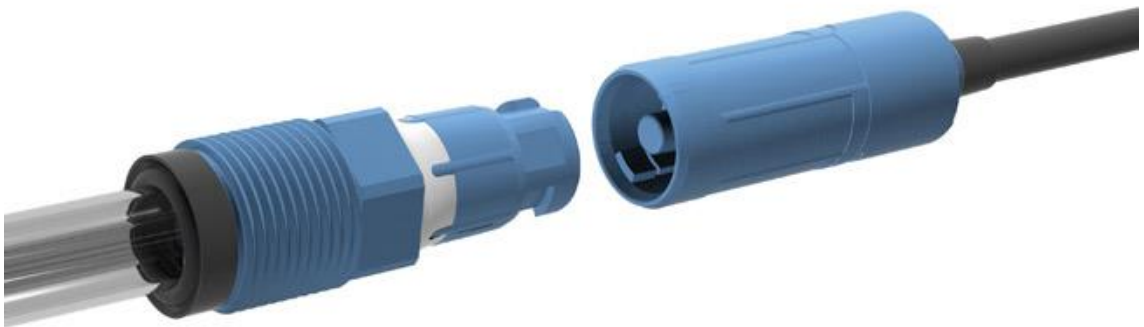
Kuva 13. Vetyionien asettuminen lasikuvun sisä- ja ulkopintaan happamassa liuoksessa [12].



Myös lämpötila vaikuttaa syntyvään jännitteeseen, ja se otetaan huomioon lämpötilakompensoinnilla. Mikäli vetyionien määrä sisä- ja ulkopuolella on yhtä suuri, on liuos neutraali, pH 7. Jos vetyionien määrä sisäpuolella on pienempi kuin ulkopuolella, on mitattava liuos hapan,  $\text{pH} < 7$  ja käänteisesti, jos lasikuvun sisäpuolella määrä on suurempi kuin ulkopuolella, on liuos emäksinen,  $\text{pH} > 7$ . [12.]

### 5.2.3 Huolto ja kalibrointi

Perinteisesti uusi pH-mittari on kalibroitava käyttöönoton yhteydessä. Endress+Hauserin digitaaliset Memosens-anturit on valmiiksi kalibroitu tehtaalla ja kalibrointitiedot ovat tallennettuna anturiin, joten kalibrointia ei tarvitse tehdä ennen käyttöönottoa. Memosens-anturin liitântätapa mahdollistaa anturin vaivattoman vaihtamisen ja sen, että anturin voi ottaa mukaan ja kalibroida laboratoriossa (kuva 14). Tästä on hyötyä etenkin asennuskohteissa, joissa olosuhteet ovat haastavat tai tavoitettavuus hankalaa.



Kuva 14. Memosens-tekniikassa mitattu arvo siirretään induktiivisen liitännän kautta digitaalisena vahvistimelle [11].

Käytössä elektrodit kuluvat ja likaantuvat, joten anturi on kalibroitava säännöllisesti. Kalibrointiväli vaihtelee asennuskohteesta riippuen, päivistä kuukausiin. Poikkeuksellisen haastavissa kohteissa kalibrointia tarvitaan jopa muutaman tunnin välein.

Kalibrointitarve voidaan määrittää kokemuksen perusteella, jolloin tiedetään suunnilleen, kuinka kauan mittaus pysyy viitearvoissa kyseisessä asennuskohteessa. Toinen tapa kalibrointitarpeen selvittämiseksi on anturin itsediagnostiikka, joka kertoo näyttöruudun tai standardoidun diagnostiikkaviestin välityksellä elektrodin tilan ilman prosessin häirintää (kuva 15). Lisäksi on muita keinoja, kuten vertailla kahden tai useamman mittauksen lukemia.



Kuva 15. Endress+Hauser Heartbeat-itsediagnostiikan monitorointi [14].

Tavallisesti kalibrointi tehdään 2-pistekalibrointina, kahden eri tunnetun pH-arvon standardipuskuriliuoksella. Kalibrointiliuokset valitaan lähelle mitattavan liuoksen pH:ta, mitaustarkkuuden parantamiseksi. Esimerkiksi lievästi happamalle liuokselle standardipuskuriliuokset pH-arvoilla 4 ja 7. Kalibrointi suoritetaan poistamalla pH-anturi prosessista ja asettamalla puhdistettu elektrodi puskuriliuokseen, jonka jälkeen tarkistetaan lähetimen näyttämä lukema ja tarvittaessa säädetään mittarin asetuksia. [13.]

## 6 Mittausten optimointi

Automaation tavoitteena on maksimoida prosessista saatava hyöty ja minimoida siitä aiheutuvat haitat. Käytön aikana on huolehdittava, että prosessilla ja sitä ohjaavalla automaatiolla on riittävät edellytykset suorittaa tehtävänsä. Mittausten luotettavuus on prosessin säädön kannalta ensisijaisen tärkeää, koska prosessia voidaan säätää vain niin tarkasti kuin sen tilaa pystytään mittaamaan. Mikäli säätö tehdään epävarman mittaus-tiedon perustella, sen onnistuminen vie todennäköisesti enemmän aikaa ja resursseja kuin luotettavan mittauksen pohjalta tehty säätö. Ennen säätöpiirien virittämistä tulisi olla varmuus siitä, että mittaukset toimivat oikein. Laadukas mittaus mahdollistaa nopeat muutokset tuotannon laadussa ja määrässä. IoT:n yleistyessä tuotantolaitoksilla, on myös datan keräämisen kannalta olennaista, että mittalaitteiden antama tieto on totuudenmukaista.

Optimoinnin tarkoituksena on varmistaa mittausten jatkuva luotettavuus ja se, että niistä saadaan niiltä odotettu hyöty. Kokonaisuutta ajatellen optimoinnilla pyritään parantamaan prosessin käyttöaikaa ja vähentämään tuotantokatkoksia sekä kustannuksia.

Jokaisella laitetypillä on oma suunniteltu ja testattu suorituskyyky, joka ilmoitetaan laitteen teknisessä erittelyssä. Jotta suorituskyyky säilyisi tai, että siihen ylipäättään päästäisiin on mittalaitteen asettamat asennuskohteen vaatimukset sekä prosessiolosuhteet otettava huomioon jo prosessin suunnitteluvaiheessa. Vaatimuksia ovat esimerkiksi asennustapa, rauhoitusetäisyydet ja asennuspaikan olosuhteet. Jo käytössä olevan mittalaitteiston kohdalla tulisi tehdä laitekannan sekä niiden asennuskohteiden tarkastelu.

Optimointiosuuden kokoamiseksi suoritettiin auditointi KotkaMillsin tehtaalla, haastateltiin EH:n ja KotkaMillsin henkilökuntaa sekä tutkittiin EH:n laitetietoja ja palvelutarjontaa.

### 6.1 Laitekanta ja laitehallinta

Sähkömagneettisen virtausmittauksen osalta laitekanta tarkasteltavassa prosessin osassa koostuu EH:n Promag 50P- ja Promag 55S -sarjan antureista. Nimelliskoot 50P-sarjan antureissa ovat 2–20” ja 55S sarjassa 4–12”. Laitekanta muodostuu valtaosin EH:n tuotteista, ainoastaan runko-osan massojen annostelussa mänty syöttö ja

konemassan syöttö -positioissa on Krohnen mittarit. Yhtenäisen laitekannan etuna on pienempi määrä varastoitavia varaosia ja -laitteita sekä saatavuuden hallinta. Jos käytössä on useiden valmistajien laitteita, varastonimikkeiden määrä kasvaa huomattavasti ja se lisää sidottua pääomaa.

Tarkastelluissa viidessä pH-mittauksessa ei ole EH:n laitteita. Tehtaan laiterekisterin perusteella neljässä mittaaspositiossa käytetään Barben Analyticalin BV547 -anturia ja yhdessä positiossa TBI:n TB557 -anturia. Haastattelun perusteella kyseisten antureiden toiminnassa ei ole ollut ongelmia. Kalibrointiväli on kahdesta kolmeen viikkoon, anturin käyttöikä 6–12 kk. [18.] Käyttöään ollessa luokkaa kuusi kuukautta, voisi tilalle miettiä EH:n antureita, kuten CPS91D tai CPS71D, jotka on suunniteltu pitkäkestoisiksi ja CPS91D erityisesti haasteellisiin prosessiolosuhteisiin.

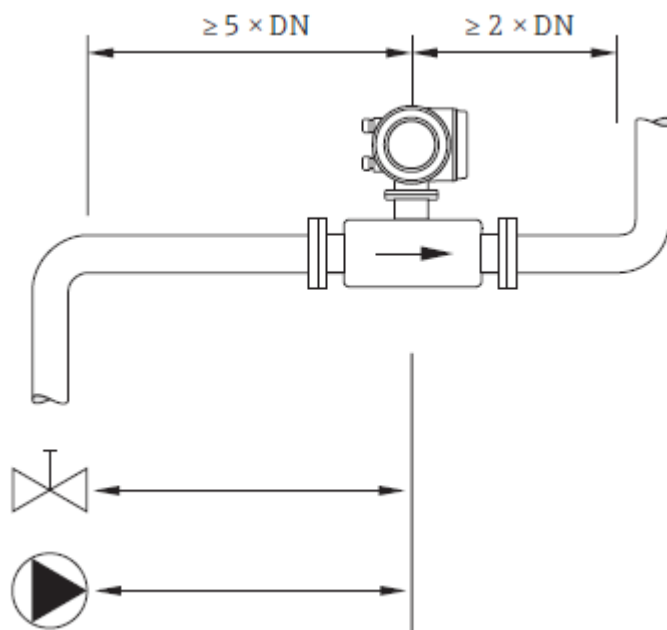
#### Laitehallinta

Haastattelun [18] perusteella saadun tiedon mukaan tehtaalla käytössä oleva mittauslaitetekanta on kirjattu tehtaan omaan kunnossapitojärjestelmään. EH:n mittareiden hankinnan yhteydessä on myös otettu käyttöön W@M-portaali, mutta kahden rinnakkaisen ohjelman käyttö ja ylläpito koetaan työlääksi. Ajantasaisen laiterekisterin etuina ovat helposti saatava dokumentointi sekä jäljitettävät kalibrointi- ja huoltotiedot, myös varaosien ja itse laitteen saatavuus löytyy suoraan W@M-portaalista. Portaaliin voidaan syöttää myös mittaasposition kriittisyystiedot, joiden avulla kunnossapidon suunnittelu ja priorisointi on vaivattomampaa.

## 6.2 Asennus

Virtausmittauspositioiden asennustapoja kartoitettiin auditoinnilla Kotkamillsin KK2:lla. Mittarit on asennettu joko pysty- tai vaaka-asentoon, joten asennusasunnoista ei löytynyt poikkeavuuksia. Rauhoitusetäisyydet ovat pääosin riittäviä, mutta pinta- sekä taustaosan POM-pumpun virtausmittauksissa huomattiin mahdolliset vajaat rauhoitusetäisyydet putkiston mutkiin. Kyseisiin kohteisiin suoritettiin tarkemmat mittaukset.

Molemmissa positioissa on Promag 50P -anturi, DN500. Anturin teknisessä erittelyssä suositellut rauhoitusetäisyydet ovat, tulo 2 500 mm, jättö 1 000 mm (kuva 16).



Kuva 16. Endress+Hauser Promag 50P:n suositellut rauhoitusetäisyydet [16].

Mitatut etäisyydet:

Pinta POM, 40FE-7387

- Tulo 2220 mm
- Jätö 850 mm

Tausta POM, 40FE-7587

- Tulo 1650 mm
- Jätö 750 mm

Riittävällä rauhoitusetäisyydellä pyritään varmistamaan, että virtausprofiili on esimerkiksi mutkan jälkeen ehtinyt kehittyä turbulentsiksi, silloin voidaan taata mittaustarkkuuden olevan spesifioidun tiedon mukainen. Kyselyn perusteella saadun tiedon mukaan kyseiset vajaat rauhoitusetäisyydet voivat aiheuttaa arviolta 1–5 %:n mittausrvirheen. [14.]

Kenttälaitteet eivät aina sijaitse käden ulottuvilla, minkä takia turvalliseen luokse pääsemiseen tarvitaan apuvälineitä, kuten kuvassa 17 näkyvät telineet. Myös laitteen paino asettaa omat haasteensa niin putkistolle kuin asennustoimenpiteisiin. Kuvan mittarin paino 175 kg, joten sen käsittely on suunniteltava huolellisesti. [16.]



Kuva 17. Pintaosan POM-pumpun virtausmittaus, jättöpuoli anturin vasemmalla puolella.

### 6.3 Kunnossapito

Yleisesti kunnossapito ymmärretään vikaantumista ennaltaehkäiseväksi toiminnaksi. Mittausten kohdalla on kuitenkin tärkeää, että ne toimivat jatkuvasti optimaalisella tavalla. On siis epäedullista niin sanotusti unohtaa mittaukset ja vain olettaa niiden toimivan oikein. Mittausten kunnossapitoa tulisi ajatella laajempänä laadussapitomenettelyinä.

Laadussapidolla tarkoitetaan toimintaa, joka suunnitelmallisesti, tuottavasti ja laatutietoisesti ylläpitää mittalaitteen ja koko mittausketjun tarkkuutta. Laadussapito muodostuu kunnossapidosta, kalibroinnista, korjauksesta ja dokumentoinnista.

### 6.3.1 Kriittisyysluokittelu

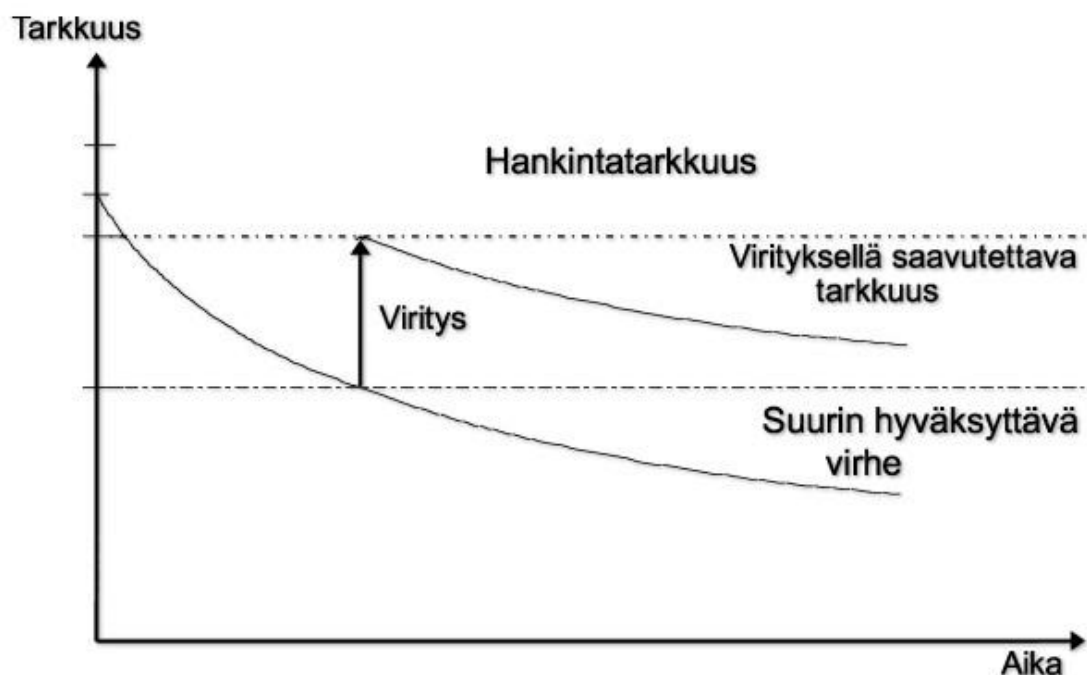
Laadussapidon kannalta mittauksen kriittisyysluokittelu on tärkeää. Jaottelu voidaan tehdä esimerkiksi tarkkuuskategorioittain, jossa jokaiselle luokitukselle määritetään toleranssirajat virheelle. Jako voidaan tehdä kahteen tai kolmeen tarkkuusluokkaan. Esimerkiksi:

- A-luokan mittaukset ovat kriittisimpiä, niillä on suurin vaikutus tuotannon laatuun ja kustannuksiin.
- B-luokkaan kuuluu pääosa mittauslaitteista, niin sanottu yleisluokka
- C-luokan mittaukset ovat informatiivisia ja niillä ei ole vaikutusta tuotannon laatuun

Luokittelun perusteella mittauksille voidaan asettaa tarkoituksenmukainen tarkkuustavoite, jonka perusteella tärkeimpiin mittauksiin voidaan kohdentaa enemmän huomiota. Kriittisyyttä arvioidessa voidaan myös pohtia, mitä vaikutuksia position epäluotettava mitaus aiheuttaa.

Haastattelun perusteella kävi ilmi, että Kotkan tehtaalla on hiljattain aloitettu koko tehtaan kattava instrumentoinnin ja kenttälaitteiden kriittisyysanalyysi, jonka arvioitu kesto on 1–2 vuotta [18].

Mittalaitteiden laatu heikkenee käytön myötä. Alkuperäisen tarkkuuden säilyttämiseksi on tehtävä tarkastuksia, kalibrointeja ja virittämisiä (kuva 18). Kalibroitivälin määrittäminen perustuu arvioituun ryömintävauhtiin ja kokemuksen perusteella saatuihin kalibrointitietoihin. Laitteen yllättävä vikaantuminen voi kuitenkin aiheuttaa ennakoitua nopeamman laadun heikkenemisen. Vikaantumisen mahdollisuus on huomioitava kalibroitiväliä määritettäessä, etenkin A-luokiteltujen mittauksen kohdalla. [4.]



Kuva 18. Havainnekuva ajan vaikutuksesta tarkkuuteen [4].

### 6.3.2 Heartbeat Technology

Heartbeat on EH:n kehittämä innovatiivinen mittauslaitteen diagnostiikka-, verifiointi- ja monitorointityökalu. Laite tarkastelee itse tilaansa jatkuvasti ja mahdollistaa mittauksen luotettavuuden varmentamisen ilman prosessin keskeytystä sekä ennakoii huoltotarpeita, jotta käyttöaikaa voidaan pidentää. (Kuva 19.)





Kuva 19. Heartbeat -diagnostiikka laitteen näytöllä kertoo sen tilan helposti luettavien hymiöiden avulla.

Itsediagnostiikka toimii jatkuvasti ja ilmoittaa, jos mittarissa havaitaan ongelmia. Diagnostiikka kattaa kaiken anturista lähtösignaaliin ja kertoo luotettavasti laitteen tilan. Jatkuva monitorointi mahdollistaa ennakoivan kunnossapidon ja havaitsee poikkeavat prosessi-ilmiöt, kuten kaasukuplien muodostumisen tai putken vuoraantumisen.

Verifiointi -toiminnallisuustesti vertaa mittaria jäljitettävään laboratoriokalibrointiin sekä tarkastaa mittarin sähköiset ominaisuudet ja lähtösignaalit vertaamalla niitä jäljitettäviin kahdennettuihin sisäänrakennettuihin referensseihin. Tuloksena verifioinnista saadaan monikohtainen hyväksytty/hylätty -raportti, josta ilmenee laitteen tilan vastaavuus alkuperäiseen kuntoon (liite).

Laitteen tilaa voidaan tarkastella laitteen omalta näytöltä, väylän kautta valvomossa, WEB-serverin kautta selaimessa tai vaikka WLAN-yhteydellä ja älypuhelinsovelluksella (kuva 20). Heartbeat teknologia on saatavilla kaikkiin EH:n mittauksiin. [15.]



Kuva 20. Heartbeat diagnostiikka puhelinsovelluksessa.

### 6.3.3 Kunnossapitopalvelu

EH tarjoaa erilaisia kunnossapitopalveluita täydentämään asiakkaan kunnossapitostrategiaa. Palvelut voidaan räätälöidä tarpeen mukaan, tarkastuksista aina laajaan ennaltaehkäisevään kunnossapitoon ja huoltosopimukseen saakka. Palvelusopimukseen voidaan liittää myös asiantuntijoiden säännölliset käynnit tehtaalla. Tiivis yhteistyö mahdollistaa jatkuvan tiedon mittausten tilasta molemmille osapuolille, parantaa tietämystä asennetusta laitekannasta ja minimoi riskin vikaantumisesta johtuvasta käyttökatkoksesta. Lisäksi EH:n asiantuntijoilla on tietämys muissa vastaavissa sovelluskohteissa toimiviksi havaituista ratkaisuista.

#### 6.3.4 Saatavuuspalvelu

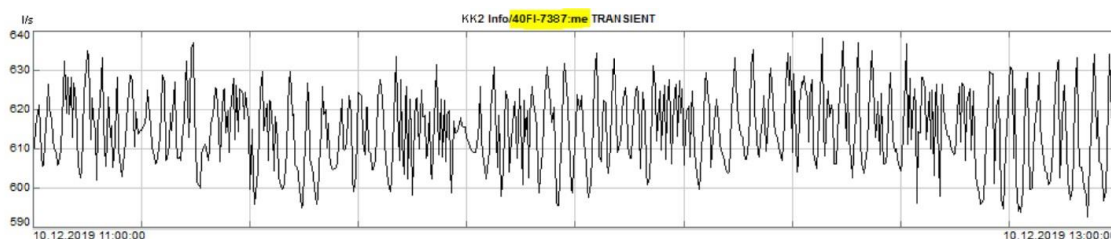
Varaosien ja -laitteiden saatavuuden varmistaminen on tärkeä osa ennakoivan kunnossapidon suunnittelussa. Lukuisten erilaisten variaatioiden takia uusia mittaussaitteita ei juurikaan ole toimittajalla valmiina varastossa ja uuden tehdastilauksen toimitusaika on yleensä muutamia viikkoja. Tavallisesti asiakas varautuu tähän omalla varastollaan. Varastointi sitoo pääomaa ja sen ylläpito vaatii oman panostuksensa, joka usein vie resursseja varsinaisesta ydinsaamisesta.

Saatavuuspalvelu on EH ja asiakkaan välinen sopimus, jossa laitetoimittaja hoitaa vara-laitteiden ja -osien varastoinnin sekä suorittaa toimitukset sovituissa määräajassa asiakkaalle, suoraan Vantaan varastosta. Mittausten kriittisyysanalyysi on hyvä perusta siihen jäsentelyyn, mitä tarvitsee varastoida asiakkaan toimesta ja mitä pidetään saatavuuspalvelun piirissä. Kriittisyyttä voidaan arvioida esimerkiksi tuotantomenetysten sekä varalaitteen ja varaosien saatavuuden kannalta.

#### 6.4 Virtausmittauksen analysointi

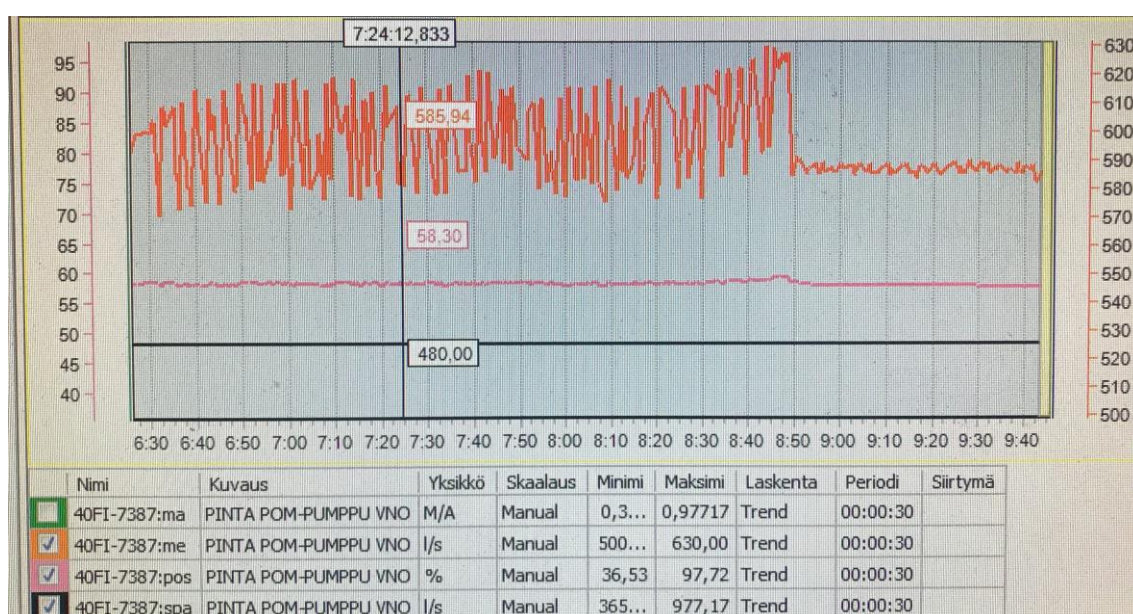
Tätä työtä aloitettaessa tuli haastattelussa ilmi ongelma kartongin konesuuntaisessa ne-liömassavaihtelussa ja siihen liittyen epäilyinä tekijänä tai osatekijänä huojunta kahdessa virtausmittauksessa, jotka ovat pintakerroksen POM-pumpun ja runkokerroksen konemassan syötön virtausmittaukset [17]. Saatavilla olevan tiedon perusteella analysointi rajataan pintakerroksen POM-pumpun virtausmittaukseen.

Tämän työn aikana KK2:lla suoritettiin kyseisiin virtausmittauksiin liittyen koeajoja yhdessä Valmetin asiantuntijan kanssa. Koeajoa seurattiin auditoinnin yhteydessä. Huojunnan taso venttiilin automaattiajolla noin 30 l/s, eli 4,9 % tilavuusvirran ollessa luokkaa 615 l/s (kuva 21).



Kuva 21. Virtausmittaus automaattiajolla.

Venttiilin manuaaliajolla huojunta vähenee huomattavasti, noin 1,7 %:iin, tilavuusvirran ollessa tasolla 590 l/s. Manuaaliajo ajasta 8:50 alkaen (kuva 22).



Kuva 22. Virtausmittaus venttiilin manuaaliajolla ajasta 8:50 alkaen.

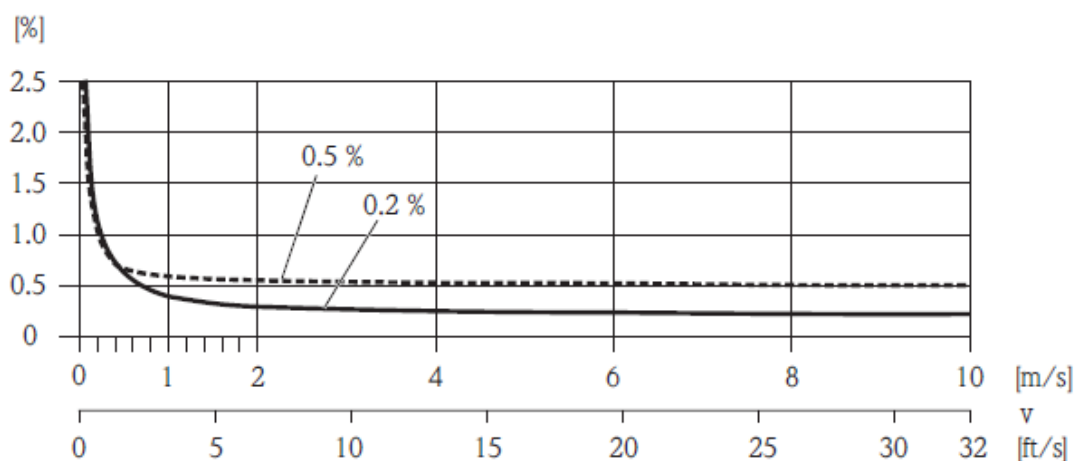
Koeajon perusteella voidaan päätellä huojunnan olevan todellista, sillä se tasaantuu merkittävästi venttiilin ollessa manuaalisäädöllä. Jäljelle jäävä 1,7 %:n huojunta voi olla todellista tai mittausvirheestä johtuvaa. Kuten kohdassa 6.2 on kerrottu, asennuspaikan putkistolla on mahdollinen vaikutus arviolta 1-5 % mittausvirheeseen. Position virtausnopeus on riittävä, tarkasteluhetkellä minimissään 3 m/s. Anturille ilmoitettu suorituskky saavutetaan virtausnopeuden ollessa vähintään +2 m/s (kuva 23).

Virtausnopeus saadaan kaavasta  $v = \frac{4*Q}{\pi*d^2}$ .

$v$  = virtausnopeus

$Q$  = tilavuusvirta

$d$  = putken sisäläpimitta



Kuva 23. Virtausnopeuden vaikutus mittausvirheeseen. [16.]

## 6.5 Muut havainnot

Tätä työtä tehdessä tehtaalla havaittiin KK2:n verhopäälyysasemalla kulutetun ainemäärän poikkeavan mitatusta ainemäärästä. Suoritettujen testien perusteella massavirtausmittaus näyttää noin 10%:a vähemmän verrattuna todelliseen. [19.] Mittausvirheestä johtuen aiheutuu ylimääräistä kulutusta sekä vaihtelua laadussa. Kyseinen tapaus on hyvä esimerkki siitä, mitä mittausvirhe todellisuudessa voi aiheuttaa ja kuinka tärkeää mittaus-ten jatkuva laadussapito on. Mittauspositioon suositellaan tarkempaa tutkintaa yhdessä Endress+Hauserin asiantuntijoiden kanssa, jotta mittarin todellinen suorituskyky voitaisiin saavuttaa.

## 7 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tarkastella kartongin valmistusprosessin mittauksia sekä kartoittaa keinoja mittausten optimoimiseksi Kotkamills Oy:n kartonkikone 2:lla. Työ aloitettiin tutustumalla mittaustekniikan ja kartongin valmistusprosessin kirjallisuuteen. Työn edetessä tehtiin auditointi kartonkikone 2:lla sekä haastateltiin Endress+Hauser Oy:n ja Kotkamills Oy:n henkilökuntaa. Lisäksi Valmet Oy:ltä saatiin mittausdataa. Kerätyn tiedon pohjalta pohdittiin keinoja prosessimittausten optimoimiseksi. Työssä tutkittiin tarkemmin massaosaston ja märkäpään sähkömagneettisia virtausmittauksia ja pH-mittauksia ditioniitin sekä natriumsulfiitin valmistuksessa. Optimointiosuudessa käsiteltyjä menetelmiä voidaan soveltaa kaikkiin prosessimittauksiin.

Prosessin laadukas, taloudellinen, turvallinen ja tehokas säätö vaatii luotettavan mittauksen. Prosessia voidaan säätää vain niin tarkasti kuin sitä pystytään mittaamaan. Luotettavan mittauksen perusteena on oikein valitut laitteet, jotka on asennettu ohjeistuksessa määrätyllä tavalla ja ylläpidetty tarkoituksenmukaisen laadussapitosuunnitelman perusteella. Mittauksen jatkuvan laadun varmistaminen vaatii seuranta kalibrointien välillä.

Prosessin käyttöaikaa voidaan parantaa ja tuotantokatkokset minimoida ennakoivalla kunnossapidolla, jonka avuksi on saatavilla Heartbeat teknologia. Heartbeat antaa jatkuvaa tietoa laitteen toiminnasta, mikä auttaa kunnonvalvonnassa ja huoltojen optimoinnissa. Sen avulla voidaan myös verifioida mittaus ja todeta, että se toimii oikein. Lisäksi Heartbeat antaa tiedon laitteen kunnosta, ennen kuin se menee epäkuntoon, ja auttaa siten minimoimaan ennakoimattomat katkokset.

EH:lta on saatavilla huoltosopimus ja kunnossapitopalveluita täydentämään kunnossapitostrategiaa. Tarjottavat palvelut tuovat laitteiden ylläpidon lisäksi lisäarvoa tiiviimmän yhteistyön muodossa. Mittausten tarkkuuden ja toiminnan kannalta olisi erittäin hyödyllistä, jos EH:n asiantuntijat voisivat tehdä säännöllisiä tarkasteluja ja keskustella asiakkaan kanssa siitä, miten mittaukset ovat toimineet ja mitä pitäisi kehittää. Jatkuva huoltosopimus mahdollistaisi säännöllisen yhteistyön.

Mittauslaitteiden vikaantumisesta johtuvien käyttökatkosten minimoiseksi on olennaista, että varalaitteita on nopeasti saatavilla. Varaston ylläpitäminen kuitenkin vaatii

henkilöresursseja sekä fasilitetteja ja varastoidut laitteet sitovat pääomaa. EH:n räätälöidyn saatavuuspalvelun avulla varastointia voidaan ulkoistaa, mikä mahdollistaa varalaitteiden nopean saatavuuden ilman sidottua pääomaa.

Käytössä olevan laitteiston koko elinkaaren aikaiseen hallintaan tarkoitettun W@M-ohjelmiston tarpeellisuudesta ja hyödyistä on suositeltavaa keskustella EH:n edustajien kanssa.

Insinööriyössä tehdyn selvityksen perusteella kartonginvalmistuksen prosessimittauksen luotettavuutta voidaan parantaa esitettyjen optimointikeinojen pohjalta ja niitä voidaan hyödyntää myös muissa tehtaan prosesseissa. Koen, että työlle asetetut tavoitteet saavutettiin ja että tuloksista on hyötyä jokaiselle työhön liittyneelle osapuolelle.

## Lähteet

- 1 Häggblom-Ahnger, Ulla & Komulainen, Pekka. 2003. Paperin ja kartongin valmistus. – 2. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 2 Halko, Pekka; Härkönen, Sakari; Lähteenmäki, Ilkka & Välimaa, Taisto. 1996. Teollisuuden mittaustekniikka. – 6 painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
- 3 Säättötekniikan perusteet. 2006. Verkkodokumentti. <[http://www.tekniikka.oamk.fi/~terohi/auto1\\_s2006u.htm#\\_Toc147132885](http://www.tekniikka.oamk.fi/~terohi/auto1_s2006u.htm#_Toc147132885)>. Luettu 19.12.2019.
- 4 AEL Oy 2019. KnowPap – Paperinvalmistuksen oppimisympäristö. Sisäinen lähde. Luettu 18.12.2019.
- 5 Oikarinen, Pasi. 2018. Mittaustekniikka. Kurssimateriaali 2018 Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 6 Pihkala, Juhani. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. – 2. uudistettu painos. Vantaa: Dark Oy.
- 7 Endress+Hauser. 2019. Verkkodokumentti. <<https://www.fi.endress.com/fi/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview>> Luettu 12.12.2019.
- 8 SFS 5059, Instrumentointi. Instrumenttien sijoittaminen prosessiin. 2007. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 9 Principle of electromagnetic flow meter. 2017. Verkkodokumentti. <<http://junsinstrument.com/principle-of-electromagnetic-flow-meter/>> Luettu 12.12.2019.
- 10 Endress+Hauser. 2009. Teoriavideo. <<https://www.youtube.com/watch?v=f949gpKdCI4>> Luettu 13.12.2019.
- 11 Endress+Hauser. 2019. Tuotetiedot. Verkkodokumentti. <<https://www.fi.endress.com/fi/field-instruments-overview/liquid-analysis-product-overview/pH-digital-sensor-cps11d>> Luettu 14.12.2019.
- 12 Endress+Hauser. 2013. Teoriavideo. <<https://www.youtube.com/watch?v=P1wRXTI2L3I>> Luettu. 14.12.2019.
- 13 Kottila, Antti. 2019. Tuotepäällikkö, Endress+Hauser Oy, Vantaa. Keskustelu 31.12.2019.



- 14 Kettunen, Ari. 2020. Tuotepäällikkö, Endress+Hauser Oy, Vantaa. Sähköposti-viesti 16.1.2020.
- 15 Endress+Hauser. 2019. Tuotetiedot. Verkkodokumentti. <<https://www.fi.endress.com/fi/field-instruments-overview/measurement-technologies/Heartbeat-Teknologia-mittauksen-pulssilla>> Luettu 16.12.2019.
- 16 Endress+Hauser. 2017. Tuotetiedot. Verkkodokumentti. <<https://www.endress.com/en/downloads>> Luettu 15.1.2020.
- 17 Koskela, Timo. Käyttöinsinööri & Järvinen, Topi. Kunnossapito työnjohtaja. 2019. Kotkamills Oy, Kotka. Haastattelu 10.12.2019
- 18 Järvinen, Topi. 2020. Kunnossapito työnjohtaja, Kotkamills Oy, Kotka. Keskustelu 14.1.2020.
- 19 Järvinen, Topi. 2020. Kunnossapito työnjohtaja, Kotkamills Oy, Kotka. Sähköpostiviesti 10.1.2020.
- 20 Endress+Hauser. 2019. Verkkodokumentti. <<https://www.fi.endress.com/en/Endress-Hauser-group>> Luettu 10.12.2019.
- 21 Kotkamills. 2019. Verkkodokumentti. <<https://kotkamills.com/company/>> Luettu 10.12.2019.
- 22 Valmet. 2019. Verkkodokumentti. <<https://www.valmet.com/about-us/>> Luettu 10.12.2019.

## Heartbeatin verifiointiraportti

## Verification report Promass 500

**Endress+Hauser**   
People for Process Automation

Plant Operator: Daniel

## Device Information

Location	Plant 123
Device tag	Promass
Module name	Promass I
Nominal diameter	DN25 / 1"
Device name	Promass 500
Order code	815B25-SIMULATION
Serial number	SIMULATION
Firmware version	01.00.02



## Calibration

Calibration factor	2.6500
Zero point	0

## Verification Information

Operating time (counter)	0d00h00m45s
Date/time (manually recorded)	01.11.16 12:00
Verification ID	1

## Overall verification result

☒ Passed Details see next page

\*Result of the complete device functionality test via Heartbeat Technology

## Confirmation

Heartbeat Verification verifies the function of the flowmeter within the specified measuring tolerance, over the useful lifetime of the device, with a total test coverage > 94 %, and complies with the requirements for traceable verification according to DIN EN ISO 9001:2008 Section 7.6 a. Contact

## Notes

## Verification report Promass 500

Plant Operator: Daniel

## Device Identification and Verification Identification

Serial number	SIMULATION
Device tag	Promass
Verification ID	1



<b>Sensor</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Inlet pickup coil	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Outlet pickup coil	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Measuring tube temperature sensor	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Carrier tube temperature sensor	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Pickup coil symmetry	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Frequency lateral mode	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Frequency torsion mode	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
<b>HBSI</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
<b>Sensor electronic module (ISEM)</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Supply voltage	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Zero point tracking	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Reference clock	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Reference temperature	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
<b>System status</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
<b>I/O module</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
Input/output 1	26-27 (I/O 1)
Input/output 2	24-25 (I/O 2)
Input/output 3	22-23 (I/O 3)
Input/output 4	20-21 (I/O 4)
	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
	<input checked="" type="checkbox"/> Passed
	<input checked="" type="checkbox"/> Not done
	<input checked="" type="checkbox"/> Not plugged
	<input checked="" type="checkbox"/> Not plugged